

Jens Soentgen:

Die Schwierigkeit der Oxidationstheorie – Vorschläge für eine vertiefte didaktische Analyse.

In: *chimica didactica. Zeitschrift für Didaktik der Chemie*. 21. Jg., Heft 1 (1995). S. 42-56.

Die Schwierigkeit der Oxidationstheorie

Vorschläge für eine vertiefte didaktische Analyse

von
Jens Soentgen
Technische Hochschule Darmstadt

Zusammenfassung

Nach einer Klärung der Begriffe ›Phänomen‹ und ›Vorstellung‹ wird am Beispiel der Verbrennung von Stahlwolle die Genese von Schülervorstellungen analysiert. Für die ›phänomenale‹ Basis, auf der dies geschieht, erweisen sich die Kategorien ›Stoffgesicht‹, ›Stoffcharakter‹ und ›Stoffaura‹ als unterscheidungskräftige und ordnende Gesichtspunkte. In der Arbeit wird dafür plädiert, die phänomenale Seite von Unterrichtsversuchen in einem strengeren Sinne ernst zu nehmen.

Abstract

The concepts ›phenomenon‹ and ›imaginary‹ (›concept‹) are clarified. The relation between them for the formation of pupils' notions is analysed on the example of burning steel wool. The categories ›face of a substance‹, ›character of a substance‹ and ›aura of a substance‹ appear to be useful tools in this analysis. The author pleads for a more rigorous acceptance of the phenomenal appearance of school experiments.

1. Einleitung

Im folgenden versuche ich, die fachdidaktische Analyse der bekannten und vielfach belegten Lernschwierigkeiten, die sich bei der Einführung der Lavoisierschen Verbrennungstheorie einzustellen pflegen, durch begriffliche und phänomenologische Untersuchungen zu erweitern und zu vertiefen.

Die »Schwierigkeit der Oxidationstheorie« besteht einmal darin, daß die Schüler den Vorgang der Metallveraschung spontan als Zerstörung des Metalls deuten, und es nicht für möglich halten, daß sich das Metall aus der Asche wieder zurückgewinnen läßt ([27], S. 74 ff.). Sie sehen die Verbrennung also nicht als eine neutrale Stoffumbildung an, sondern als Vernichtung, mindestens aber als irreversible »Verschlechterung« des verbrannten Stoffes. Detaillierter fassen manche die Verbrennung als Zerlegung des Metalls auf, wobei eine Komponente als Dampf oder Rauch entweicht. Damit hängt zusammen, daß sie die Asche in der Regel für leichter als das Metall halten, und dazu neigen, experimentelle Widerlegungen anzuzweifeln. Schließlich gehört zum Komplex der Lernschwierigkeiten mit der Oxidationstheorie noch der Tatbestand, daß

selbst nach ausgiebiger Widerlegung der Schülerbehauptungen diese eine erstaunliche Persistenz demonstrieren.¹

Dem Chemieunterricht scheint es auch bei großem pädagogischem Aufwand nicht zu gelingen, den Schülern glaubhaft zu machen, daß sich aus den Verbrennungsprodukten chemischer Stoffe die Ausgangsstoffe zurückgewinnen lassen, daß jene also nicht vernichtet sind. Dies spiegelt eine von PFUNDT angeführte und seither oft zitierte Schüleräußerung: »Der Formel nach müßte sich natürlich aus Kohlendioxid wieder Kohlenstoff zurückgewinnen lassen. Aber in Wirklichkeit ist es natürlich unmöglich, aus einem farblosen Gas einen festen, schwarzen Stoff herauszuholen.« ([17], S. 158)

Aufgabe fachdidaktischer Forschung ist es, solche Lernschwierigkeiten zu deuten und sie dadurch einer kontrollierten Therapie zugänglich zu machen. Gegenwärtig besteht in der Fachdidaktik allgemeiner Konsens darüber, daß die angesprochene Schwierigkeit ihre Ursache in »Schülervorstellungen« haben ([8], [13], [15], [17], [18], [27], [28], [29]). Dieser Ansatz ist wohl am konsequentesten im 1. Band des monumentalen Werkes *Stoffe und Stoffumbildungen* von Johann WENINGER, Helga PFUNDT und Werner DIERKS entwickelt worden. Ich möchte in der folgenden Erörterung diese Auffassung präzisieren und durch phänomenologische Analyse der Sache selbst ergänzen.

Begriffliche Klärungen: Vorstellungen und Phänomene

»Wenn an unseren Gymnasien der naturwissenschaftliche Unterricht beginnt, haben sich die Schüler schon etliche Jahre mit der Welt der Dinge auseinandergesetzt. ... Dabei haben sie allmählich ihre eigenen Erklärungen für die Phänomene in ihrer Umwelt entwickelt.« ([17], S. 157)

»Zu den chemischen Vorgängen, die die Schüler bereits lange vor der ersten Chemiestunde kennen, gehören Verbrennungs- und Verglühungsvorgänge. Jeder Schüler hat schon einmal beobachtet, wie das Wachs einer Kerze beim Verbrennen restlos verschwindet, wie Holzkohlestücke beim Verglühen immer kleiner werden und schließlich nur eine winzige Aschenportion zurücklassen. ... Die Phänomene ... zwingen ... geradezu die Vorstellung auf, daß diese Vorgänge in einer endgültigen Vernichtung von Stoffen bestehen.« ([17], S. 158)

»Mit der Vorstellung der endgültigen Vernichtung von Stoffen bei Verbrennungsvorgängen kommen die Schüler in den Chemieunterricht. Dort wird ihnen sehr bald die Gelegenheit gegeben, ähnliche Vorgänge zu beobachten. Die Schüler verbrennen beispielsweise Zink und erleben, wie das Metall unter Bildung einer blaugrünen Flamme verschwindet und eine weiße, ganz »leichte« Asche zurückläßt, – ähnlich wie Holzkohle beim Verglühen oder Holz beim

¹ PREECE [18] schlägt u.a. aus diesem Grunde vor, anzunehmen, daß die Schülerkonzepte angeboren seien. Wir werden weiter unten eine einfachere Deutung kennenlernen.

Verbrennen. Zur Erklärung der beobachteten Vorgänge ziehen die Schüler ihre Erfahrungen mit den bekannten Verbrennungsvorgängen heran: Zink wird für die Schüler unwiederbringlich vernichtet.« ([17], S. 158)

Mit diesen Worten umreißt Helga PFUNDT eine fachdidaktische Theorie, an die ich hier anschließen und die ich durch Präzisierung des Konzeptes und phänomenologische Analysen vertiefen möchte.

Zunächst wende ich mich der begrifflichen Klärung zu. Was bedeutet »Vorstellung« im hier vorliegenden Zusammenhang? Walter JUNG hat vorgeschlagen, darunter »ein Element im kognitiven System zu verstehen, das Wirklichkeit darstellt, darstellen kann, oder vorgibt, Wirklichkeit darzustellen. (Reine Programme sind demnach hier keine Vorstellungen.)« ([13], S. 184.) Diese Präzisierung ist meines Erachtens ungeeignet, weil sie etwas unklares durch anderes, das noch unklarer ist, klären will: was ist das »kognitive System« und seine »Elemente«? Was ist mit »Wirklichkeit« gemeint? Ist das »kognitive System« selbst unwirklich, da es ja offensichtlich der »Wirklichkeit« entgegengestellt ist? Und wie kann ein »Element« des »kognitiven Systems« etwas vorgeben – lügt das kognitive System bzw. seine Elemente? Mir scheint, daß JUNG in seiner Definition ungeschickt vorgegangen ist, indem er zu viele »vorbelastete« Begriffe verwendet hat.

Weniger brauchbar scheint mir auch das vor allem bei angelsächsischen Autoren beliebte Verfahren zu sein, den Vorstellungsbegriff zu präzisieren, indem er an den Theoriebegriff assimiliert wird. Statt von Schülervorstellungen spricht man dann von Schüler- oder Alltagstheorien (oder von »intuitive science«: [18]). Dieses Vorgehen mag sich anbieten, weil der Theoriebegriff durch die Bemühungen der Wissenschaftsphilosophen kristallklar gemacht worden ist, und daher zumindest formal nützlich scheint. Ferner mag es für einen Wissenschaftler naheliegen, zu denken, daß alle Leute so ähnlich sind wie er selbst, daß also auch Schüler kleine Wissenschaftler sind, die Daten sammeln, Erfahrungen generalisieren und zu Theorien verarbeiten. Dabei liegt eigentlich auf der Hand, daß Schüler an ihre Vorstellungen auf ganz anderem Wege kommen als ein Forscher an seine Theorien. Niemand wird im Ernst die Auffassung vertreten, daß die Schüler ihre Vorstellung von z.B. Verbrennungsvorgängen gewinnen, indem sie zuerst kontrollierte Beobachtungen an Kerzen machen, und deren Ergebnisse dann in einem allgemeinen Gesetz niederlegen, das seinerseits dann womöglich sogar noch in eine allgemeinere Theorie eingebettet wird. Man sollte wirklich aufpassen mit solch problematischen Präzisierungsversuchen.

Als Ausgangspunkt einigermaßen brauchbar scheint mir nun folgende, von einem Psychologen erarbeitete Definition zu sein: »Unter einer Erinnerungs- oder Gedächtnis-Vorstellung versteht man die bei Abwesenheit entsprechender Sinnesreize im Bewußtsein erfolgende Repräsentation früher wahrgenommener Gegenstände oder Vorgänge. (...) Wesentlich für alle echten Vorstellungen ist das Fehlen des Realitätscharakters, also das Wissen um das Nichtgegenwärtig-

sein des Vorgestellten in der Außenwelt. Gegenüber Eindrücken von Sinneswahrnehmungen sind Vorstellungsinhalte in der Regel undeutlich, unbeständig, ärmer an Einzelheiten und nicht genau im Raum lokalisiert. Sie weisen nicht die Persistenz und Kontinuität von Wahrnehmungserlebnissen auf.« ([1], S. 2505 f.) Diese Definition schärft den Vorstellungsbegriff, indem sie ihn mit seinem Gegenteil, dem »Wahrnehmungserlebnis«, dem Phänomen kontrastiert: Vorstellungen sind ortlos, Phänomene geortet; Vorstellungen sind undeutlich, Phänomene klar. Hinzufügen müßte man noch: Vorstellungen können durch Denken verändert werden, Phänomene nicht – oder doch nur in ganz geringem Ausmaß (darauf kommen wir weiter unten noch einmal zurück). Wichtig für die weitere Präzisierung des Vorstellungsbegriffs ist der Begriff des Sachverhalts. Ein Sachverhalt ist das, was von verschiedenen gleichbedeutenden Aussagesätzen ausgesagt wird – man könnte statt von Sachverhalt auch von Bedeutung oder Information sprechen. Es scheint nun so zu sein, daß sich Vorstellungen auch dadurch von Phänomenen unterscheiden, daß im Falle der Vorstellungen der Schwerpunkt des Erlebnisses mehr auf den Sachverhalten liegt, bei den Phänomenen aber mehr oder mindestens gleichstark auf den Sinnesqualitäten.² Bei Vorstellungen hat man zuerst den Sachverhalt, den man dann sinnlich ausschmückt, bei Phänomenen hat man zuerst oder mindestens zugleich die sinnliche Anschauung, von der man dann die Sachverhalte ablöst.

Folgende Tabelle soll die Unterschiede zusammenfassen:

| Phänomen | Vorstellung |
|---|---|
| öffentlich | privat |
| letzte Wirklichkeit | verweist nur auf letzte Wirklichkeit, erscheint selbst unwirklich |
| lokalisiert im Raum | nicht klar im Raum lokalisiert |
| konstante, lediglich differenzierbare Struktur | Variable Struktur |
| Schwerpunkt des Erlebnisses liegt eher bei den Sinnesqualitäten | Schwerpunkt des Erlebnisses liegt eher bei den Sachverhalten |
| Subjekt ist eher passiv (wahrnehmen) | Subjekt ist eher aktiv (vorstellen) |

Tabelle 1: Unterschiede zwischen Phänomen und Vorstellung.³

² Die hier implizierte Behauptung, daß Sachverhalte wahrnehmbar sind, kann an dieser Stelle nicht ausreichend begründet werden. Ich verweise für einen besonders einleuchtenden und doch relativ kurzen Beweis auf [25], § 16.

³ Vgl. den Abschnitt »Wahrnehmen und Vorstellen« in [24], S. 375 – 379.

Unter den zahlreichen Sorten, die es an Vorstellungen gibt, kommen in unserem Zusammenhang ausschließlich die kognitiven Vorstellungen in Betracht. Unter einer kognitiven Vorstellung verstehe ich einen gewußten Sachverhalt. Gewußt wird ein Sachverhalt, wenn er von einer Person erfragt werden kann. Die begriffliche Präzisierung soll damit abgeschlossen sein – sie ist für unsere Zwecke genügend tief getrieben.

Zur Genese von Schülervorstellungen über Verbrennungsprozesse: Eine Analyse ihrer phänomenalen Basis

Die Schüler machen zu den Verbrennungsvorgängen Aussagen, die auf kognitive Vorstellungen hinweisen. Diese Vorstellungen sind vom Standpunkt der Chemie aus gesehen falsch: für die Chemie wird nicht Verbranntes vernichtet, sondern dieses wird lediglich umgebildet. Die Frage, die sich an diese Feststellung anschließt, lautet: Woher stammen die Vorstellungen? Was läßt sich über ihre Genese sagen? Hat der Schüler sie sich selbst aufwendig erarbeitet? Oder stecken sie gewissermaßen in den Phänomenen selbst, und werden vom Schüler nur abgelöst oder extrahiert?

Helga PFUNDT scheint vorsichtig für die zweite Alternative zu optieren, wenn sie schreibt: »Die Phänomene, die den Schülern zugänglich sind, können nicht zum Aufbau der Vorstellung führen, daß Verbrennungen und Verglühungen umkehrbare Vereinigungsvorgänge sind (umkehrbar in dem Sinne, daß die Anfangsstoffe zurückgewonnen werden können). Sie zwingen vielmehr geradezu die Vorstellung auf, daß diese Vorgänge in einer endgültigen Vernichtung von Stoffen bestehen.« ([17], S. 158)

Man merkt dem Urteil eine gewisse Ambivalenz an, wenn die Autorin zunächst vom Aufbau einer Vorstellung spricht – danach wäre der die Vorstellung tragende Sachverhalt also doch Produkt eines Subjekts, eine Konstruktion – dann aber behauptet, daß gewisse Phänomene dieselbe Vorstellung »aufzwingen«, daß also der Sachverhalt in der Umwelt schon bereitliegt, und nur entnommen zu werden braucht.

Dieses Schwanken zwischen den zwei Positionen, das eher ein Zurückschrecken vor der zweiten, eigentlich befürworteten Alternative zu sein scheint, mag durch gewisse philosophische Annahmen über die Wahrnehmung motiviert sein. Lange Zeit war es Tradition, davon auszugehen, daß nur einfache Sinnesqualitäten (Farben, Gerüche, Töne, Tastqualitäten und Geschmäcke) wahrnehmbar seien, nicht aber Sachverhalte. Diese, so wurde angenommen, seien Zutaten des Subjekts, Interpretationen des sinnlichen Materials. Ohne auf Einzelheiten eingehen zu können, muß hier nachdrücklich betont werden, daß diese Auffassung sowohl in der Philosophie als auch in der Wahrnehmungs-

psychologie⁴ seit langem widerlegt ist. Selbst in der Physik ist – allerdings erst seit kurzem – die Rede vom objektiven Vorkommen von Information ([27], S. 346 ff.). Schon 1979 hat Buck in der chemiedidaktischen Diskussion ausdrücklich diesen zweiten Standpunkt eingenommen [5].

Das entspricht auch unserem naiven Erleben: wir empfinden den Sachverhalt, daß z.B. die Sonne aufgeht nicht als Interpretation von Lichtreizen, sondern als Wahrnehmung, als etwas, das wir der Umwelt entnehmen, nicht aber als etwas, das wir selbst herstellen. Sollte PFUNDT Schwanken also durch das Vorurteil, daß Sachverhalte subjektiv sein müssen, motiviert worden sein, so ist es grundlos.

Durch diese Feststellungen erübrigt sich natürlich nicht die Frage, ob die speziellen, hier fraglichen Schülervorstellungen tatsächlich der Umwelt entnommen sind. Ein Argument für diese Position ist die von dem Psychologen Wolfgang METZGER getroffene Feststellung, daß »für das kindliche Wahrnehmen das völlige *Vertrauen auf das Zeugnis der Sinne*« ([16], S. 422, Hervorhebung von METZGER) kennzeichnend ist. Kinder glauben, was sie sehen, sie haben geringe Neigung, die Informationen, die die natürliche Umwelt ihnen liefert, ausgiebig zu komplizierten Konstrukten zu verarbeiten. Kinder sind naiv: sie vertrauen den Physiognomien der Dinge und Menschen.

Reiche Bestätigung erhält die These, daß sie Schülervorstellungen über Verbrennung einfach dem Phänomen selbst entnommen sind, wenn man sich der Sache selbst in naiver Einstellung zuwendet. Versuchen wir, eine Metallverbrennung phänomenologisch zu analysieren. Bedauerlicherweise stehen für eine solche Analyse nur wenige begriffliche Instrumente zur Verfügung. Ich erlaube mir, an dieser Stelle auf einige »selbstgemachte« Begriffe zurückzugreifen, die ich an anderer Stelle ausführlicher ausgearbeitet habe, und hier aus Raumgründen nur stichwortartig vorstellen kann:

»*Stoffgesicht*« im engeren Sinne nenne ich die Oberfläche eines Stoffes, sofern sie als Anzeichen für den Stoffcharakter genommen wird. Im weiteren Sinne bezeichne ich auch die nicht so eng an das Zentrum der konkreten Stoffportion gebundenen Sinnesqualitäten Geruch und Schall als zum Stoffgesicht gehörend.

»*Stoffcharakter*« meint die Mannigfaltigkeit der Sachverhalte und der in diesen wurzelnden Dispositionen und Anmutungen, die am Stoff wahrnehmbar sind und in die er eingebunden ist. Zum Stoffcharakter gehören z.B. Eigenschaften wie hart, weich, elastisch, flüssig usw. Der Stoffcharakter ist das, was im Stoffgesicht ausgedrückt ist. Die Ausdrücke Gesicht und Charakter dürfen nicht als Indiz genommen werden, daß ich etwa die Auffassung vertrete, daß Stoffe

⁴ Mehr als ein solches argumentum ex autoritate kann ich an dieser Stelle nicht anbieten. Für eine ausführliche Diskussion vergleiche [9]; [10]; [20], § 236.

beseelt seien. Die Ähnlichkeit zwischen Gesicht und Charakter bei Menschen und bei Stoffen ist ganz formaler Natur, sie besteht wesentlich in der erwähnten Verweisstruktur.

Stoffaura bezeichnet die emotionale Ausstrahlung eines Stoffes. Auch dieser Begriff darf nicht im Sinne eines primitiven Animismus mißverstanden werden. Selbstverständlich können Stoffe nicht fühlen. Gleichwohl aber können Gefühle von ihnen phänomenal ausgehen, so kann etwa Blei traurig und matt wirken – ohne traurig oder matt zu sein. Daß unbelebte Gegenstände einen emotionalen Ausdruck haben, ist ein in der Naturästhetik und in der Ästhetik der bildenden Kunst bekanntes Phänomen: es gib traurige Landschaften und traurige Bildnisse, obwohl weder Landschaften noch bemalte Leinwände eine Seele haben. Es muß darauf hingewiesen werden, daß die Stoffaura weniger eng an den Stoff gebunden ist als das Stoffgesicht oder der Stoffcharakter, sie kann unter Umständen stark situationsabhängig sein.

Mit diesen Begriffen gerüstet, möchte ich nun eine konkrete Verbrennung phänomenologisch analysieren. Ich wähle die Verbrennung von Stahlwolle, weil dieses Experiment im Schulunterricht oft durchgeführt wird, wenn es gilt, die Lavoisiersche Verbrennungstheorie einzuführen. Die Ergebnisse sind leicht auch auf andere Metallverbrennungen, etwa die Verbrennung von Zink oder Magnesium übertragbar.

Das Metall

Das Stoffgesicht. Die einzelnen Stahlwollefäden haben eine Reihe auffälliger sinnlicher Eigenschaften, nämlich Glanz, Härte und Biegsamkeit. Insgesamt handelt es sich gewiß um eine eher untypische Erscheinungsform des Metalles Eisen, doch ist sie wiederum nicht so ungewöhnlich, daß dadurch die Wiedererkennbarkeit gefährdet wäre. Der Glanz ist in der sinnlichen Wahrnehmung eine bedeutsame Eigenschaft von Stoffen: er zeigt deren Frische, deren Neuheit (im Sinne von »fabrikneu«) an. Durch Gebrauch verlieren alle stofflichen Oberflächen mit der Zeit zuerst ihren Glanz und dann ihr Profil. Man kann das gut an Münzen sehen, aber auch an allen sonstigen glänzenden Objekten. Glanzverlust ist ein Zeichen für Verbrauchsein. Dies ist übrigens nicht nur auf Stoffe beschränkt: auch das Altwerden eines Menschen erkennen wir daran, daß seine Haut ihren Schimmer verliert, die Augen ihren Glanz, die Stimme ihre Brillanz.

Der Stoffcharakter. Die zottige Stahlwolle macht dem Wahrnehmenden eine Reihe Angebote, und ich fürchte, daß schon viele Lehrer beobachten konnten,

wie ihre sich langweilenden Schüler diese Angebote der Reihe nach wahrnehmen. Die faser- oder haarartige Textur der Stahlwolle legt nahe, sie zu zerzupfen, zu verdrehen, zu verflechten, zu verknoten oder verknäulen. Man kann viel mit ihr anstellen.

Die Stoffaura des Metalls behandle ich unten im Vergleich mit der Aura der Stahlwolle.

Das Verbrennen und Verglühen

Das Verbrennen der Stahlwolle ist von einem Schüler einmal in die Worte gefaßt worden: »Das sieht aus, als würden da Ameisen mit Laternen herumlaufen.« Die Fäden werden von Glühzonen durchlaufen, es knistert, oft sind Funken zu sehen, die aufwärts fliegen, aufsteigende heiße Luft kann gesehen und gefühlt werden. Ein leichter brenzlicher Geruch ist wahrnehmbar, und auch die zurückbleibende Asche riecht noch »angebrannt«.⁵ Diese Phänomene motivieren die Schülerbehauptung, daß beim Verbrennen bzw. Verglühen der Stahlwolle etwas entweicht, etwas, das für die Konsistenz und den Glanz des Metalls gesorgt hat.

Die Asche

Das Stoffgesicht. Eine Metallasche ist stets ein feines Pulver. Sie ist niemals kompakt und dicht wie der Stoff, der verbrannt wurde, sondern leicht und locker.⁶ Ihren Teilen fehlt der Zusammenhalt, der das biegsame Metall auszeichnet ([6], S. 57). – Weil sie so feinpulverig ist, macht sie sich, wenn wir mit ihr umgehen, akustisch kaum bemerkbar: sie macht nicht den Eindruck dichter materieller Präsenz, den die Stahlwolle hinterläßt, die nicht so leicht auseinanderzupfen ist wie jene. Zerzupfen wir die Stahlwolle, so hören wir ein sattes reißendes Geräusch, das uns auch dann, wenn man es uns isoliert von der Tasterfahrung darböte, einen Eindruck von Widerstand geben würde. Die Asche hingegen können wir nur auf der Unterlage verreiben, und was bekommen wir dabei zu hören? Ein trockenes, saftloses Geräusch, ein Schaben.

⁵ Dies wird von organischen Imprägnierungsstoffen verursacht.

⁶ Mit den Adjektiven »dicht, kompakt« bzw. »leicht, locker« sind hier natürlich nicht die Größen spezifisches Gewicht bzw. Masse gemeint, sondern synästhetische Charaktere, die nicht nur an optischen Eindrücken vorgefunden werden können, sondern ebenso gut an Tönen, Gerüchen und Tasteindrücken. Sie werden in der Wahrnehmungspsychologie öfter auch als »Komplexqualitäten« oder »intermodale Qualitäten« bezeichnet. Letzten Endes handelt es sich bei solchen synästhetischen Charakteren, die die ganze sinnliche Wahrnehmung durchziehen, vermutlich um Spuren von Körpergefühlen, vgl. hierzu [22] § 239; [30]. Für ein abweichendes Verständnis der Qualitäten »kompakt« und »locker« vgl. [27], Teil 1, Unterrichtsleitungen, S. 28 f und S. 56.

Besonders auffällig am Stoffgesicht der Stahlwollenasche ist, daß der Glanz verlorengegangen ist. Die Asche gibt nicht nur ein stumpfes Geräusch, sie sieht auch stumpf aus.

Durch das Verglühen ist das Gesicht der Stahlwolle zerstört, es ist verfallen. Der Zusammenhalt ist aus ihr gewichen, ihre filigrane Textur ist zwar noch sichtbar, aber sie ist bröcklig und zerfällt, wenn man sie anstößt. – Die Asche verweist auf etwas, das vorher da war, und jetzt nicht mehr ist. Sie trägt die Spur einer Erinnerung an das, was vorher da war: dadurch gewinnt die Asche ihren anschaulichen Restcharakter. Sie ist kein vollwertiger Stoff aus eigener Kraft, sondern Überrest eines anderen Stoffes.

Der Stoffcharakter. Die Asche bietet uns viel weniger Möglichkeiten des Hantierens als ein Metallband oder -draht oder eine Stahlwolle. Wir können mit ihr nicht in so bunter und vielfältiger Weise agieren wie mit jenen, sie bietet uns keinen Widerstand, fordert unsere Aggressivität nicht heraus. Wo vorher ein vollwertiger Körper war, mit dem man sich auseinandersetzen konnte, ist jetzt ein Zerfallsprodukt, das allen Sinnen, auch dem »Kraftsinn«, weniger bietet als ein Metall. Sie zeigt keine Resistenz, sie verteidigt ihr Dasein nicht – der leichteste Atemzug treibt sie weg. Sie macht gerne Platz.

Anders als mit der Stahlwolle weiß man mit der pulvrigen schwarzen Asche nichts anzufangen – sie ist zu nichts zu gebrauchen, sie ist unnütz. Einen solchen Stoff bezeichnet man als Abfall, er gehört in die Mülltonne – das jedenfalls ist (vermutlich!) das Angebot, das er den Schülern macht – der Chemielehrer wird gewiß ganz anderer Meinung sein.

Die Stoffaura. Grundsätzlich vermute ich, daß die im Unterricht eingesetzten Stahlwolleportionen – und die aus diesen resultierenden Ascheportionen – zu klein, die eingeräumten Beobachtungszeiten zu kurz sind, um eine prägnante Wahrnehmung der Stoffaura zu ermöglichen. Dennoch möchte ich, um die Beschreibung abzurunden einige Hinweise geben.

Zwischen Metall und Asche ist ein Unterschied wie zwischen der metallischen Stimme eines strahlend selbstbewußten jungen Mannes und der brüchigen Sprechweise eines Greises. Mit dem Eindruck von Glanz und flexibler Festigkeit ist der emotionale Ausdruck von Jugendlichkeit und Tatkraft verwoben. Dies zeigt sich auch in der charakteristischen Verwendung von Metall für Kostüme und Bekleidungen: »Des Glanzes wegen hat man noch lange nach der Ritterzeit zu mancher Galatracht einen Silberharnisch getragen, wie ihn der »strahlende Held« Don Juan D'Austria zur Ausstattung seiner »glänzenden« Erscheinung liebte. Außerdem ergänzte das Feste und Steife den Eindruck strahlenden Kriegertums.« ([14], S. 97 f.) Die entgegengesetzte emotionale Ausstrahlung der Asche drückt sich in der – freilich heute nicht mehr gebräuch-

lichen – Bekleidungspraxis, sich bei Scham oder Trauer in »Sack und Asche« zu hüllen, oder zumindest Asche auf sein Haupt zu streuen.

Empirische Bestätigung der phänomenologischen Analyse

Wenn diese phänomenologische Analyse zutrifft, so spricht sie sehr stark für die Vermutung, daß die Vorstellung, daß Stoffe bei der Verbrennung vernichtet werden, kein Konstrukt ist, sondern ein Phänomenextrakt. Zur weiteren Bestätigung ziehe ich nun noch das breite empirische Material heran, das Peter HAUPT in seiner Dissertation über »Verbrennungs- und Oxidationsvorgänge im Verständnis von Schülern« (1984) gesammelt hat.

HAUPT führte im Rahmen seiner Arbeit eine große Anzahl Interviews mit Schülern durch, um den Schwierigkeiten mit der Oxidationstheorie auf die Spur zu kommen. Der Autor betont, daß eigentlich die Schüler nur über sporadische Denkansätze verfügen, die man nicht als Theorien bezeichnen könne, und auch nicht, wie es häufig geschieht, mit ausgefeilten Gedankengebäuden wie der Stahlschen Phlogistik vergleichen dürfe ([11], S. 100 f.).

Stattdessen ergab sich, daß die Schüleräußerungen häufig durch einfache Wahrnehmungen motiviert sind: sie sind einfache, kaum weiterverarbeitete Phänomenextrakte. Dies belegen m.E. folgende von Haupt protokollierte Aussagen über das Verbrennungsprodukt der Stahlwolle: »Das wird leichter – glaub' ich, weil das so weniger verteilt ist. Nicht so auf einem Haufen.«⁷ Der zitierte Schüler beschreibt hier den oben erwähnten synästhetischen Charakter der Lockerheit, der mit phänomenaler Leichtigkeit verbunden ist, wie die aus der Werbung bekannte Alliteration »locker – luftig – leicht« belegt. Diese sinnliche Wahrnehmung führt dann zur Täuschung der Massenschätzung. Ein anderer Schüler beschreibt die Verbrennung von Torf: »Wenn Torf noch nicht verbrannt ist, ist er ganz schwer, weil die Nahrung noch im Torf drin ist. Das Feuer frißt die Nahrung auf, und dann wird es zu Asche. Asche ist leicht, und die Nahrung im Torf ist schwer.« ([11], S. 57.) Diese Äußerung ist phänomenologisch gut verständlich: Flammenverbrennungen haben tatsächlich etwas »Aussaugendes« an sich, und Asche fühlt sich immer trockener an als der unverbrannte Stoff. Solche Schüleräußerungen sind schlichte Beschreibungen von Wahrnehmungen. Sie belegen meines Erachtens die These, daß die Ursachen für die Schwierigkeit der Oxidationstheorie in den Phänomenen liegt. Auch HAUPT selbst kommt auf S. 50 f zu dem Ergebnis, daß die Wahrnehmung die zentrale Determinante der von ihm registrierten Schüleräußerungen ist.

⁷ [11], S. 102.

Unterschiede zwischen wissenschaftlichen Vorstellungen und Schülervorstellungen

Das Verbrennen der Stahlwolle transformiert einen Stoff mit schimmernden, straffen Gesicht in einen solchen mit mattem, schwarzen, zerfallenem Gesicht. Ein Stoff mit reichhaltigem Charakter wird in einen Stoff, mit dem man nichts anzufangen weiß, in einen »charakterlosen Stoff« überführt.

So zeigt die Analyse der sinnlichen Erscheinung der Verbrennung, daß die oben angeführten Schüleräußerungen, die die Verbrennung von Stahlwolle mindestens als Verschlechterung, vielleicht sogar als Vernichtung derselben werteten, durchaus ein fundamentum in re haben. Genauso sieht es nämlich auch aus. Aber was folgt daraus? Wie kann der Chemielehrer oder die Chemielehrerin mit den Schülervorstellungen umgehen? »Damit die Schüler ihre ursprüngliche Erklärung verwerfen, müssen sie erfahren, daß sich aus den Verbrennungsprodukten die Metalle wiedergewinnen lassen. Dazu können die Metalloxide beispielsweise zusammen mit Holzkohle erhitzt werden.« ([17], S. 158).

PFUNDT übergeht hier eine erhebliche didaktische Schwierigkeit: zwar kann man den Schülern eine alternative *Vorstellung* der Verbrennung eingeben, man kann sie dahin führen, ihre ursprüngliche Erklärung zu verwerfen, aber es ist unmöglich, zu bewirken, daß die *Wahrnehmung* des Vorgangs sich ändert. Durch die Aufnahme der chemischen Verbrennungstheorie kommt es nicht zu einer Umorganisation der visuellen Welt. Asche bleibt Asche, man kann nicht sehen, daß sie ein Metalloxid ist, auch wenn man erfahren hat, daß sich aus der Asche das Metall zurückgewinnen läßt. Sowenig, wie der Nachweis, daß sich die Erde um die Sonne dreht, verhindern kann, daß es trotzdem morgens so aussieht, als ob die Sonne aufgeht – während die Erde steht. Die optische Wahrnehmung ist eigentümlich unbelehrbar.

Dieses didaktisch äußerst wichtige Faktum ist in der Wahrnehmungspsychologie seit langem bekannt – mit besonderer Präzision hat es Egon BRUNSWIK herausgearbeitet: »Ein Wahrnehmender, der entfernte Größen unterschätzt, mag getrost sich durch Messung davon überzeugen, daß er sich getäuscht hat, und gleichzeitig die objektiv herrschenden Größenverhältnisse erfahren, es wird sich in den meisten Fällen nichts oder nur wenig an seinem Eindruck ändern, wenn er die ursprüngliche Wahrnehmung unter den gleichen Bedingungen wiederholt. Noch weniger wirksam als das eigene Nachmessen ist für gewöhnlich die Mitteilung der Wahrheit durch andere.«⁸;

⁸ [4], S. 118. BRUNSWIKS zu seiner Zeit sehr bekanntes Buch wird heute kaum noch gelesen – eines von vielen Beispielen für die Verschwendung guter psychologischer Literatur. Indem der Text die Unterschiede zweier Arten der Beobachtung, die »gewöhnliche Wahrnehmung und die Messung« (S. 8) untersucht, schneidet er ein Problem an, das gerade für die Didaktik der Naturwissenschaften von eminenter Bedeutung ist.

»Die Wahrnehmung ist ... nicht nur durch konstruktive Methoden (wie Messen, Denken und Wissen) weitgehend unbelehrbar, sondern auch durch Gegebenheiten aus der eigenen Sphäre, nämlich durch andere Wahrnehmungen.« ([4], S. 119).

Diese Feststellungen bedeuten für unseren Zusammenhang, daß man niemanden lehren kann, die Lavoisiersche Verbrennungstheorie *zu sehen*. Diese Theorie kann, wie die meisten naturwissenschaftlichen Theorien, nur gedacht bzw. gewußt werden. Die Wahrnehmung der phänomenalen Welt ist nur in wenigen Fällen, nämlich nur dann, wenn das dargebotenen Phänomen hochgradig vieldeutig ist, wie etwa ein Rohrschach-Klex – durch Vorinformationen beeinflussbar. In solchen Fällen kann eine gezielte Information des Wahrnehmenden in gewissen Grenzen einen »gestaltswitch« bewirken, so daß dasselbe Phänomen anders gesehen wird. Das Verbrennungsphänomen ist aber nicht in dieser Weise plastisch, ihm fehlt die Ambiguität. Jede Verbrennung wird als Vernichtung gesehen. Es wäre für ein vom Feuer bedrohtes Lebewesen auch wenig adaptiv, wenn das anders wäre. Würde das Feuer nur als wertfreier Vorgang der Stoffumbildung gesehen, so bestünde kein phänomenaler Anlaß, vor einem Brand davonzulaufen. So gesehen ist es also ein Glück, daß die Wahrnehmung darauf fixiert ist, Verbrennen als Vernichten zu sehen, und ein Feuer als Vernichtungsdrohung wahrzunehmen.⁹

Mit diesen Bemerkungen soll natürlich nicht behauptet werden, daß man man naturwissenschaftliche Theorien nicht durch Rückgriff auf Phänomene beweisen kann. Das ist ja gerade der Unterschied zwischen der Lavoisier-Vorstellung und der ursprünglichen Schüler-Vorstellung: die Schüler-Vorstellung kann zwar nicht bewiesen, wohl aber gesehen werden, die Lavoisier-Vorstellung kann zwar bewiesen, nicht aber gesehen werden. Wir begegnen hier jener Tatsache, die der berühmte französische Philosoph (und ehemalige Chemielehrer) Gaston BACHELARD ([2], [3]) zum Kern seiner Wissenschaftstheorie gemacht hat: daß nämlich das wissenschaftliche Wissen nicht in gleicher Weise wie das Alltagswissen einen Sitz in der Anschauung hat. Es hat nur einen punktuellen Kontakt, es materialisiert sich nur an wenigen Stellen, und nur unter besonderen, künstlichen Umständen. Den Boden der Anschauung berühren die naturwissenschaftlichen Theorien gewissermaßen nur mit spitzen Stelzen. Auf gewissen Punkten im Erfahrungsbereich – in unserem Falle ist es das Reduktionsexperiment – ruht fast die ganze Last einer Theorie. Die Alltagstheorien dagegen versinken gewissermaßen breit im Fauteuil der phänomenalen Welt, so sehr und so tief, daß sie kaum von dieser unterscheidbar sind.

Eine wissenschaftliche Vorstellung hat ein ganz anderes fundamentum in re als eine Alltagsvorstellung. Sie ist gleichzeitig besser und schlechter in der

⁹ Darauf beruht übrigens die Möglichkeit einer von der Naturwissenschaft unabhängigen Phänomenologie der Natur.

Erfahrung verankert. Schlechter ist sie in der Erfahrung verankert, weil die Erfahrung, um als Verankerungspunkt der wissenschaftlichen Theorie tauglich zu werden, erst präpariert und vermessen werden muß. Besser ist sie verankert, weil eben ein vermessenes Phänomen ein unter optimalen Bedingungen beobachtetes Phänomen ist. Alltagsvorstellungen dagegen haben gerade unter normalen Wahrnehmungsbedingungen – eben alltäglichen – die größte Überzeugungskraft.

Deshalb ist der Austausch einer »Alltagsvorstellung« gegen eine wissenschaftliche Vorstellung kein Austausch zweier gleichberechtigter Konzepte, die sich lediglich in ihrer logischen Struktur unterscheiden. Vielmehr wird ein Konzept mit direktem, breitem, aber auch diffusem Erfahrungsbezug ausgetauscht gegen ein Konzept mit indirektem, selektivem, aber präzisiertem Erfahrungsbezug. Mir scheint, daß gerade hier, in der Beziehung der naturwissenschaftlichen Theorie zur phänomenalen Welt die eigentliche Schwierigkeit des Lavoisierschen Verbrennungskonzeptes liegt. Die gesehene Welt – auf Grund der Trägheit des Wahrnehmungssystems – assimiliert sich nicht an die naturwissenschaftliche Theorie. Das Lavoisier-Konzept bleibt ein Konzept, es materialisiert sich nicht recht. Es hat seine Basis eher im Denken als in der Anschauung. Deshalb vermag es sich in der Konkurrenz gegen die ursprüngliche Konzeption der Verbrennung oft nicht dauerhaft durchzusetzen. Das gelernte Konzept wird wieder vergessen, weil es keinen rechten Sitz im Leben gewinnt.

Anregungen für die Chemiedidaktik

Die naturwissenschaftlichen Theorien stehen fremd in der phänomenalen Welt: sie sind ver-rückt. Ich habe den Eindruck, daß dieser grundsätzliche Unterschied zwischen Alltagsvorstellungen und wissenschaftlichen Vorstellungen in der chemischen Fachdidaktik zu wenig berücksichtigt wurde, obwohl sich vermutlich viele Lern- und Lehrschwierigkeiten hierauf zurückführen lassen.

Mir scheint, daß die naturwissenschaftliche Fachdidaktik den Weg, den sie mit der Analyse von Schülervorstellungen begonnen hat, durch die Analyse der Struktur der phänomenalen Umwelt fortsetzen sollte. Denn vermutlich sind viele Schülervorstellungen, sofern sie nicht kommunikativ vermittelt wurden, nichts anderes als unvollkommene Versuche, diese Struktur zu explizieren. Man wird viele Schüleräußerungen sehr viel besser verstehen können, wenn man ein sprachlich präzises und übersichtliches Wissen von der phänomenalen Struktur der natürlichen Welt besitzt.

Ein solches Wissen ist in Ansätzen erstmals wohl von den griechischen Naturphilosophen erarbeitet worden, und es finden sich in der fachdidaktischen Literatur gelegentlich Versuche, die oftmals dunkelsinnigen Schülervorstellungen durch die klaren und konsistenten Vorstellungen antiker Philosophen zu

erhellen.¹⁰ Wenig bekannt ist dagegen die Tatsache, daß die Erforschung der phänomenalen Welt mit dem Ende der Antike nicht aufgegeben wurde. In unserem Jahrhundert haben sich vor allem Phänomenologen ([19], [24]) im Anschluß an die griechischen Vorgänger und an GOETHE, dieser Aufgabe unterzogen. In Amerika wird diese Forschung gegenwärtig unter dem Titel »ecological approach« von Wahrnehmungspsychologen ([9], [10]) vorangetrieben. Meine eigenen Forschungen zielen darauf, die phänomenale Struktur der Welt der Stoffe aufzuklären. Ich meine, daß Fachdidaktiker und Fachdidaktikerinnen von solchen Untersuchungen viel lernen könnten. Die Schüleräußerungen sind wie ineinandergeschobene Bruchstücke aus dem Text der phänomenalen Welt. Nur wer den ganzen Text kennt, wird in der Lage sein, diese Bruchstücke auseinanderzuziehen und besser zu verstehen.

Danksagung

Prof. Dr. Peter BUCK, Kai-Uwe BUX, Prof. Dr. Walter JUNG, Dr. Wolfgang KÜHNEL, Christoph PREISER und meinem Vater, Erich SOENTGEN, danke ich für detaillierte Kritik mehrerer früherer Fassungen dieses Textes. Der Kurt-Hansen-Stiftung, Bayerwerk, danke ich für finanzielle Förderung meines Studiums von 1989-1992.

Literatur

- [1] ARNOLD, Wilhelm, EYSENCK, H.-J., MEILI, Richard: Lexikon der Psychologie in 3 Bänden. Freiburg (1980)
- [2] BACHELARD, Gaston: La Formation de l'Esprit Scientifique. Paris. (1972)
- [3] BACHELARD, Gaston: Le Matérialisme Rationnel, Paris (1972).
- [4] BRUNSWIK, Egon: Wahrnehmung und Gegenstandswelt. Grundlegung einer Psychologie vom Gegenstand her. Leipzig und Wien (1934)
- [5] BUCK, Peter: How real are atoms really? – Wie wirklich sind »Teilchen« eigentlich? chimica didactica 5 (1979) S. 181-194
- [6] DERRIDA, Jacques: Feuer und Asche, Berlin (1988)
- [7] DIERKS, Werner: Anmerkungen zu den pädagogischen Absichten des Lehrgangs »Stoffe und Stoffumbildungen« und zu dessen Umsetzung im Unterricht. In: Weninger/Dierks [29] S. 2-51.
- [8] DUIT, Reinders, JUNG, Walter und PFUNDT, Helga [Hrsg]: Alltagsvorstellungen und naturwissenschaftlicher Unterricht, Köln (1988).
- [9] GIBSON, James Jerome: Die Sinne und der Prozeß der Wahrnehmung. Bern, Stuttgart, Wien (1973)
- [10] GIBSON, James, Jerome: Wahrnehmung und Umwelt. München (1982)
- [11] HAUPT, Peter: Verbrennungs- und Oxidationsvorgänge im Verständnis von Schülern. Köln (1984)

¹⁰ Nur wenige Beispiele: [13], S. 155; [20] (»Manchmal hilft die Beschäftigung mit dem fremden alchemistischen Denken, seine ähnlich fremd argumentierenden Schüler besser zu verstehen!« (S. 40); ein in Bezug auf die Vergleichbarkeit skeptischer Aufsatz: [12].

- [12] HEEGE, Reiner: Was heißt »Aristotelisches Denken« bei Kindern? in: *physica didactica* 8 (1981), S. 209-215.
- [13] JUNG, Walter: *Anstöße*. Frankfurt (1983)
- [14] KIENER, Franz: *Kleidung, Mode und Mensch: Versuch einer psychologischen Deutung*. München/Basel (1956)
- [15] MEHEUT, Martine, SALTIEL, Edith und TIBERGHEN, Andrée: Pupils' (11-12 year olds) conceptions of combustion, *Eur. J. Sci. Educ.* 7 (1985) No. 1, S. 83 – 93.
- [16] METZGER, Wolfgang: Die Entwicklung der Erkenntnisprozesse, in: *Handbuch der Psychologie*, Bd. 3: Entwicklungspsychologie, [Hrsg] Hans Thomae, S. 404-440 (1967)
- [17] PFUNDT, Helga: Ursprüngliche Erklärungen der Schüler für chemische Vorgänge, *MNU* 28.(1985) S. 157-162.
- [18] PREECE, Peter F. W.: Intuitive science: Learned or triggered? *Eur. J. Sci. Educ.* 6 (1984) S. 7-10
- [19] SCHAPP, Wilhelm: *Beiträge zur Phänomenologie der Wahrnehmung*, Erlangen (1925)
- [20] SCHLÖPKE, Wulf-Ingo: Alchemistisches Denken und Schülervorstellungen, *chimica didactica* 17 (1991) S. 5-43
- [21] SCHMIDT, Hans-Jürgen: *Harte Nüsse im Chemieunterricht*. Frankfurt/M (1992)
- [22] SCHMITZ, Hermann: *System der Philosophie, Teil III, Band 5: Die Wahrnehmung*, Bonn (1989).
- [23] SOENTGEN, Jen: Die sinnliche Stofferfahrung und ihre Bedeutung für den Chemieunterricht. Wissenschaftliche Hausarbeit für die erste Staatsprüfung für das Lehramt an Gymnasien, Frankfurt (1993 unveröffentlicht) vgl. auch die Rezension von Mins Minssen in *chimica didactica* 20 (1994) S. 77-83
- [24] STRAUS, Erwin: *Vom Sinn der Sinne. Ein Beitrag zur Grundlegung der Psychologie*. Berlin, Heidelberg, New York. (1978, 1. Auflage 1936).
- [25] TEGTMEIER, Erwin: *Grundzüge einer kategorialen Ontologie*, München (1992)
- [26] VON WEIZSÄCKER, Carl-Friedrich: *Die Einheit der Natur*, München (1979)
- [27] WENINGER, Johann und PFUNDT, Helga: *Stoffe und Stoffumbildungen, 1. Teil, Lehrerbuch*, Stuttgart (1979)
- [28] WENINGER, Johann: Einführung in den dritten Teil des Lehrgangs »Stoffe und Stoffumbildungen«, in: [29] S. 53-88
- [29] WENINGER, Johann, DIERKS, Werner: *Stoffe und Stoffumbildungen, 3. Teil: Auf dem Weg zu einer Chemie der Aggregate; Lehrgangsbeschreibung*. Stuttgart (1988)
- [30] WERNER, Hans: Intermodale Qualitäten (Synästhesien), in: Wolfgang Metzger [Hrsg] *Handbuch der Psychologie*, Bd. 1.1: Wahrnehmung und Bewußtsein, 1966, S. 278-306.

Anschrift des Verfassers: Jens Soentgen, Fachfeldstraße 67, D-60387 Frankfurt/Main